

堤体基礎沈下箇所と天端縦断亀裂の関係

大日コンサルタント(株) ○朱 発瑜

大日コンサルタント(株) 藤井 孝文 深見 秀隆 吉田 和幸 山田 弘一 平野 浩之

春日井市役所 山田 雄大

中部大学 国際会員 杉井 俊夫

1. はじめに

2011年に起きた東北地方太平洋沖地震¹⁾では、従来から被害の形態と想定されていた基礎地盤の液状化だけではなく、堤体内の液状化により、堤防機能を失う大規模な被災が多数発生した。堤体内の液状化のメカニズムとは、堤体内に形成された「閉封飽和域」²⁾が地震動によって、堤体内で液状化を発生させるものである(図-1)。なお、「閉封飽和域」とは、堤体直下付近の粘性土が圧密沈下し、砂質土からなる堤体の「めり込み部」に、雨水等が溜まって形成されるものである。

本研究は、堤体の液状化の可能性がある「堤体直下付近に粘性土が分布する場所」を天端舗装の縦断亀裂に着目して簡易に抽出することを目的としている。本報告は、長良川と揖斐川堤防における検討を踏まえて、両者を比較した考察について述べるものである。

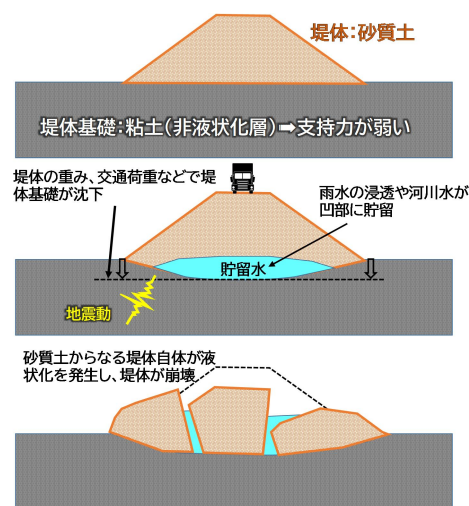


図-1 堤体内液状化メカニズム

2. 堤防天端舗装の縦断亀裂箇所の抽出

杉井ら³⁾は、庄内川堤防において天端舗装の縦断亀裂と堤体基礎の土質の関連性を示している。堤防道路におけるアスファルトのひび割れは、亀甲状亀裂(図-2)、横断亀裂(図-3)、縦断亀裂(図-4)等に区分され、主に車輪走行部に発生する。基礎地盤が軟弱な場合、あるいは盛土材料の強度特性が低い場合には、盛土自体が安定を保持できずに、盛土内にすべり面を生じて、堤防天端に亀裂が発生することがある。そこで、本研究では、堤体直下付近の粘性土の分布状況を推定するため、軟弱地盤の圧密沈下が原因となって発生すると考えられる堤防天端舗装の縦断亀裂に着目し、Google ストリートビューで調査した。長良川、揖斐川堤防の天端舗装の縦断亀裂の抽出箇所を図-5に示す。



図-2 亀甲状亀裂

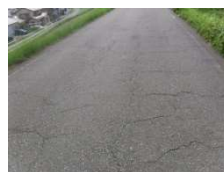


図-3 横断亀裂



図-4 縦断亀裂

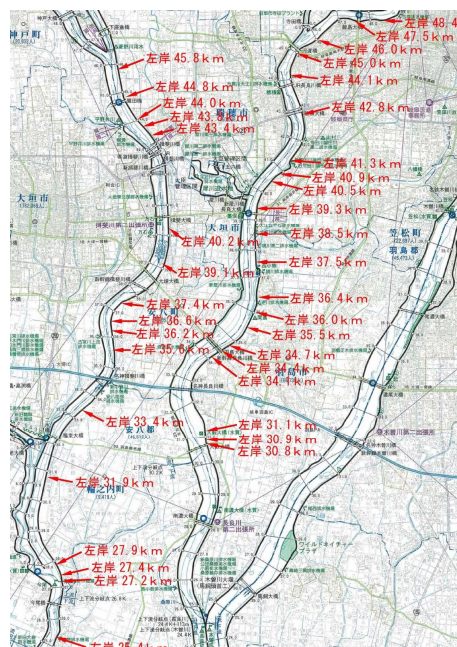


図-5 長良川、揖斐川堤防の縦断亀裂箇所

Relationship between Embankment foundation depression and Longitudinal crack of top pavement layer : Fayu Zhu(Dainichi Consultant INC) , Takahumi Hujii(Dainichi Consultant INC) , Hitetaka Hukami(Dainichi Consultant INC) , Kazuyuki Yoshida(Dainichi Consultant INC) , Hirokazu Ymada(Dainichi Consultant INC) , Hiroyuki Hirano(Dainichi Consultant INC) , Yuudai Ymada(Kasugai city office) and Toshio Sugii(Chubu University)

3. 縦断亀裂が確認できる箇所の土質状況の確認

3.1 検討方法

堤防天端舗装の縦断亀裂箇所と堤体及び基礎地盤の土質の関係を確認するため、木曽川上流河川事務所の地質調査資料を基に縦断図を作成した（図-6、図-7）。縦軸に標高 T.P. (m)，横軸に河口からの距離 (km) を表し、図中の下部に示す帯には、治水地形分類図(H30.12)，重要水防箇所，粘性土層の分布，Google ストリートビューで調査した堤防天端舗装の縦断亀裂箇所を示す。ここで、重要水防箇所（漏水）は，変状履歴や土質等からみて，堤防機能に支障が生じる漏水の恐れがある箇所である。また，宇野ら⁴⁾ が提案した粒度組成の表現図を活用して，堤防土質の特性を可視化した。粒度組成の表現図は，土質試験データを「粘土，シルト，砂，礫」の4成分に区別し，その割合を粒度分率として，柱状図に表すものである。

3.2 確認結果

図-6 は，長良川左岸堤防の整理結果である。調査区間は，堤体基礎地盤の特性から，「A 区間 30.0k~48.5k」，「B 区間 48.5k~56.0k」に分類される。A 区間の堤防天端舗装に縦断亀裂を多数確認した箇所は，そのほとんどが堤体基礎地盤に細粒分が堆積している氾濫平野や旧河道であった。B 区間の堤防天端舗装に縦断亀裂を確認した箇所は，堤体基礎地盤に砂・礫分の割合が多い扇状地であった。また，B 区間の堤防舗装に縦断亀裂を確認した箇所は，堤体に粘土分の割合が多い堤防であることが分かった。以上より，堤体直下付近に粘性土が分布する場所の抽出に着目した当検討においては，B 区間を対象から除外することとした。

図-7 は，揖斐川左岸堤防の整理結果である。揖斐川堤防では，調査区間の堤体基礎地盤に連続した粘土分を確認した。しかし，粘土分がある範囲すべてに縦断亀裂が発生しているわけではなかった。揖斐川堤防において，堤防舗装に縦断亀裂が発生している箇所は，ほとんどが堤体基礎地盤に細粒分が堆積している氾濫平野であった。

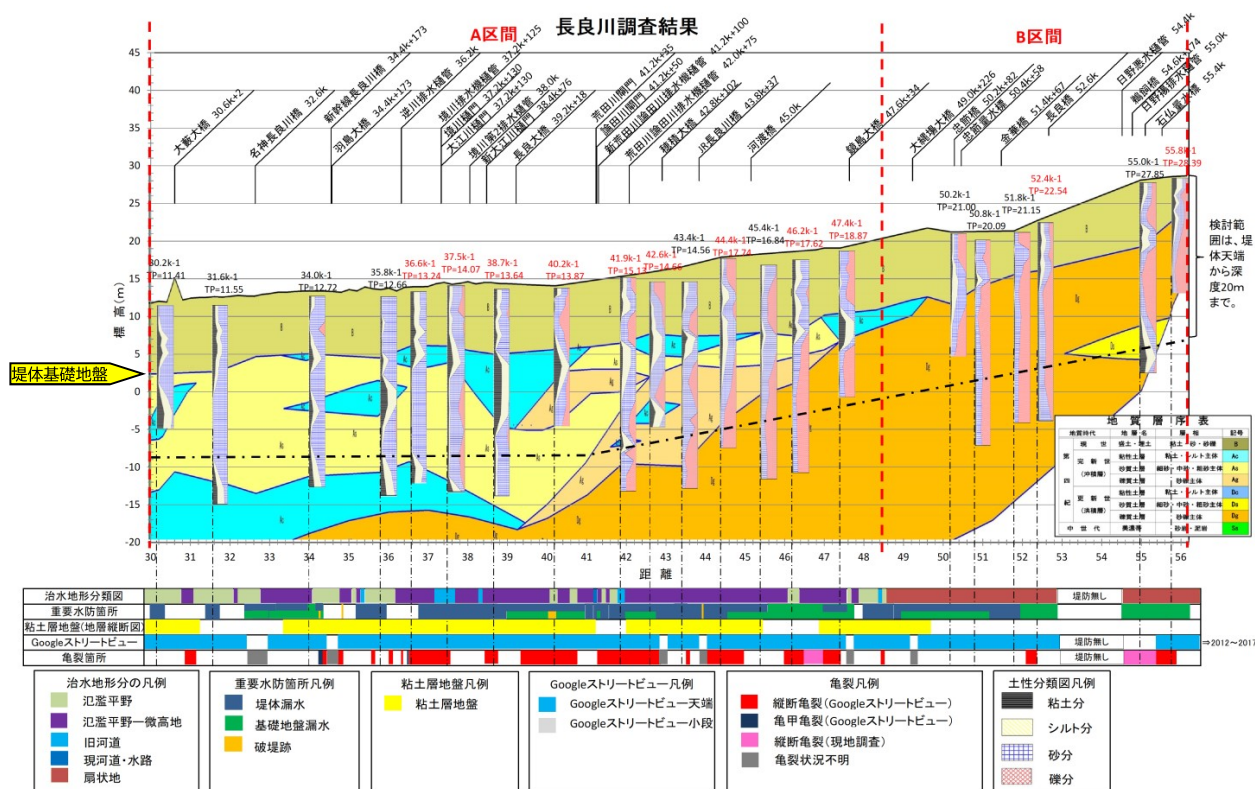


図-6 長良川左岸堤防（30.0k~56.0k）調査結果（R2.4作成）

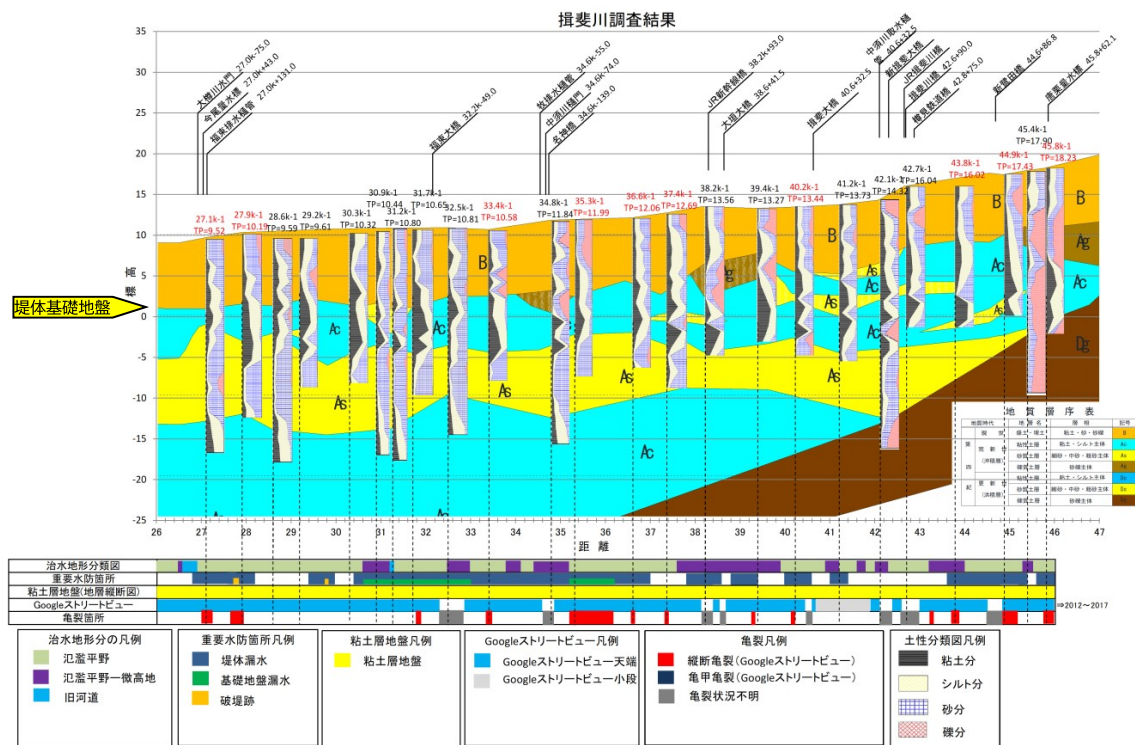


図-7 揖斐川左岸堤防（26.0k～46.0k）調査結果（R2.4 作成）

4. 粒度組成表現図に粘土分の割合と堤防天端縦断亀裂箇所における定量的評価

4.1 検討方法

堤防天端舗装の縦断亀裂の有無と堤体基礎地盤における粘土分の影響について、粒度組成表現図を活用して検討した。粒度組成表現図から堤体基礎地盤の粘土分含有率と粘土分を含む厚さとの積（粘土分×含有層厚）を求め、堤防天端舗装の縦断亀裂確認箇所と比較した。図-8 のように、粘土分を含む厚さは、堤体基礎地盤高を開始点とし、終了点は複数ケース検討した結果、相関性が見いだされた粘土分 10%未満までの点とした。その範囲の中で、粘土分の含有率をプロットした点で区切り、各台形の面積を求め、その合計値を粘土分の面積とした。同様に、粘土とシルト分を含めたケースも行っており、粘土とシルト分の場合は、終了点を 20%未満までとした。

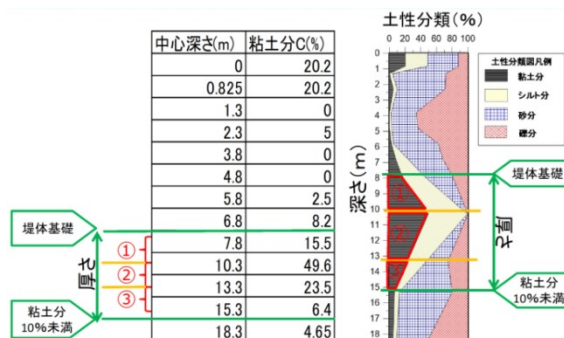


図-8 粘土分を含む厚さとの積の求め方法

4.2 整理結果

図-9, 10 は長良川堤防, 図-11, 12 は揖斐川堤防における堤体基礎の粘土分の含有層厚と粘土分×含有層厚の関係, 堤体基礎の粘土・シルト分の含有層厚と粘土・シルト分×含有層厚の関係をそれぞれ示した。

長良川堤防においては, 図-9 より, 堤体内に粘土分を含む箇所(46.2km)を除いて, 縦断亀裂がある箇所は 7 箇所で粘土分の含有層厚が 4m 以上であった。図-10 は, 粘土にシルト分を含めた含有層厚に対する粘土分・シルト分×含有層厚の関係を示しているが, 図-9 に比べて, ばらつきが少ない傾向となり, 同様に粘土とシルトの層厚が 4m 以上になると縦断亀裂が生じていることがわかった。

揖斐川堤防においては, 図-11 より, 縦断亀裂がある地点の粘土分(粘土・シルト分)の含有層厚は 7m 以上であった。図-12 は, 粘土にシルト分を含めた含有層厚に対する粘土分・シルト分×含有層厚の関係を示しているが, 図-11 に比べて, ばらつきが大きい傾向となり, 同様に粘土とシルトの層厚が 7m 以上になると縦断亀裂が生じていることがわかった。

図中の亀裂がある場合の回帰線の勾配から、粘土層や粘土・シルト層が存在する場合、長良川堤防の単位層厚当たりの平均粘土分が約 27%，平均粘土・シルト分約 64%，揖斐川堤防では平均粘土分が約 32%，平均粘土・シルト分約 73%と、粘土分では約 3 割，粘土・シルト分では約 7 割とほぼ類似していることがわかった。縦断亀裂が生じる粘土層厚は、長良川堤防（4m）の方が、揖斐川堤防（7m）より小さくなった。

以上より、長良川、揖斐川の堤防天端舗装の縦断亀裂の確認箇所と堤体基礎地盤の粘土層の厚さには、関係性が認められたが、粘土層厚の閾値などに違いが見られたことから、その原因について考察した。

堤体の規模は、長良川（平均堤体高 8.8m，平均堤体幅 55.0m），揖斐川（平均堤体高 8.7m，平均堤体幅 54.8m）とほぼ等しく、堤体自体の荷重の差異はないと考えられた。なお、揖斐川堤防において、図-11、図-12 の堤体基礎の粘土層厚の 5 m～6m で亀裂が確認できなかった箇所は、現場の状況から、舗装が修繕されている可能性が考えられ、その影響が否定できないと考えられる。また、杉井ら⁵⁾の行った簡易な模型実験では、荷重の除荷によって、堤防天端に縦断亀裂が発生することが分っており、活荷重としての交通量の差異が影響すると考えられる。また、揖斐川堤防では堤体に粘土分の割合が多いにも関わらず、縦断亀裂が確認されなかった箇所もあり、堤体の土質について調査検討が必要と考えられる。

6. おわりに

本研究の結果、縦断亀裂と堤体基礎地盤の粘土層の厚さとの関係性が、長良川、揖斐川の双方で認められた。亀裂発生の際の閾値の違いについては、堤防天端舗装の修復の影響の可能性が考えられる。現在、河川管理者と天端道路占有管理者が異なっているため、修復履歴等の情報が管理され、適切に共有されることが望まれる。

参考文献：

- 1) 牛腸宏・橋本信仁・椎木貴敏・宮武晃司・藤田浩・菊田勇平(2012)：東日本大震災による河川堤防の被災状況について，河川技術論文集，第 18 巻，pp.363-368
- 2) 佐々木康・三浦高史・成田秋義・石戸谷信吾・木村晃・伊藤龍一・中山修・柳畑亨・佐古俊介(2012)：閉封飽和域の液状化による堤防被災過程に関する研究，河川技術論文集，第 18 巻，pp.333-338
- 3) 杉井俊夫・石川瑛規(2019)：堤体内液状化の危険性を含む堤体めり込み地点の抽出の試み，第 54 回地盤工学研究発表会，pp.945-946
- 4) 宇野尚雄・笠井雅広・岩崎好規・藤原照幸(2016)：堤体の土質柱状図にある粒度の表現法とその活用，第 4 回河川堤防技術シンポジウム講演概要集，pp.37-40
- 5) 森聖智・山田雄大・杉井俊夫(2020)：堤体基礎地盤の沈下が堤体変状に及ぼす影響，土木学会中部支部研究発表会講演概要集，pp.229-230

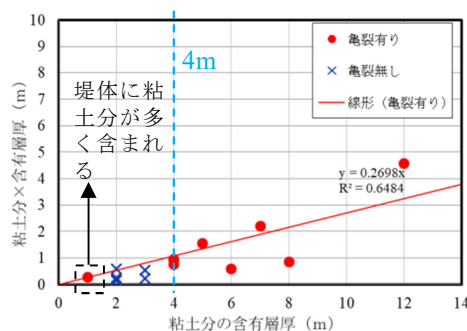


図-9 長良川堤体基礎の粘土分の含有層厚～粘土分×含有層厚の関係

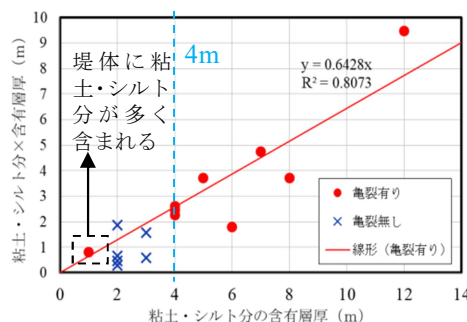


図-10 長良川堤体基礎の粘土・シルト分の含有層厚～粘土・シルト分×含有層厚の関係

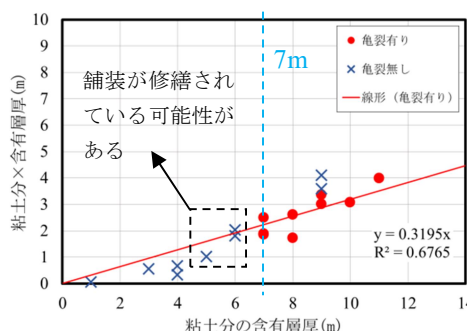


図-11 揖斐川堤体基礎の粘土分の含有層厚～粘土分×含有層厚の関係

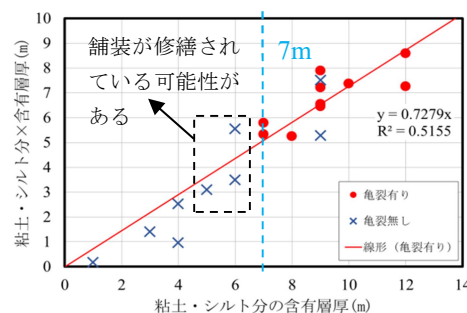


図-12 揖斐川堤体基礎の粘土・シルト分の含有層厚～粘土・シルト分×含有層厚の関係